



ESTUDO DA BIODEGRADABILIDADE DE BIOPLÁSTICOS NUMA CULTURA DE CICLO LONGO - MORANGO

Raquel Alexandra Cardoso Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

Júri:

Presidente: Doutor Arlindo Lima, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia
da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora
Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de
Lisboa

Mestre Maria Margarida da Costa Ferreira Correia de Oliveira, na qualidade
de especialista

Licenciada Natércia Garrido, na qualidade de especialista

Lisboa, 2012

Agradecimentos:

Agradeço à Professora Doutora Elizabeth Duarte a orientação, apoio, incentivo, amizade, confiança e claro, a possibilidade de ter realizado este trabalho no âmbito do Projecto Europeu FP7 “Development of enhanced biodegradable films for agricultural activities” – AGROBIOFILM.

Agradeço à empresa Silvex – Indústria de Plásticos e Papéis SA, na pessoa do Coordenador de Projecto Dr. Paulo Azevedo e ao Eng. Carlos Rodrigues.

Agradeço a toda a equipa do projecto “Agrobiofilm” que me acompanhou e ajudou no decorrer do ensaio, nomeadamente ao Eng. Lopo Carvalho, à Ana Costa, à Mestre Maria Margarida Oliveira e à Professora Cristina Cunha Queda.

Agradeço à Eng^a. Christine Morais, ao Eng. Miguel Martins, ao Eng. Domingos e à Professora Maria Odete Torres, pela disponibilidade, apoio e ajuda prestada ao longo deste período.

Agradeço ao meu namorado, Artur, que me apoiou desde o primeiro dia em que entrei no ISA e que percorreu comigo todo este caminho, nem sempre fácil. Agradeço principalmente toda a paciência, mas também toda a confiança e força que me deu quando as dificuldades pareciam ser mais fortes que eu.

Agradeço à minha mãe, Olga, e ao Júlio, todos os sacrifícios feitos para que eu chegasse até aqui. Agradeço a confiança que toda a minha Família depositou no meu sucesso e, porque “Família” é mais do que laços de sangue, agradeço o apoio da família Saraiva, que também é minha, para percorrer esta etapa.

Agradeço a todos os que, de algum modo, tornaram a realização deste trabalho possível.

Raquel Costa

RESUMO

A aplicação de plásticos de cobertura na agricultura teve o seu início em meados do século passado e desde então o seu uso tem-se intensificado. Após a sua utilização, o custo de enviar o resíduo resultante para um destino final adequado leva, muitas vezes, a que seja deixado ou queimados em campo aberto, causando enormes impactos ambientais. Os plásticos de cobertura de solo biodegradáveis, que podem ser incorporados no solo após o ciclo de produção, aparecem como uma solução sustentável para o desenvolvimento de actividades agrícolas mais sustentáveis.

O objectivo deste trabalho foi testar a biodegradabilidade de cinco plásticos de cobertura de solo, produzidas a partir de matéria prima Mater-bi™, em comparação com o polietileno utilizado convencionalmente. A biodegradabilidade foi testada em laboratório através de um teste respirométrico seguindo a norma internacional EN ISO 17556; e em condições de campo, por observação e cálculo da percentagem de área perdida em molduras de rede, ao longo de um determinado período de tempo. Os testes de campo para avaliar a produtividade e qualidade dos frutos foram realizados durante dois anos. Das 5 coberturas de solo biodegradáveis estudadas houve uma que se destacou pelo seu bom desempenho quer em termos de produtividade e qualidade dos frutos quer pela biodegradabilidade atingida (2 %, num teste respirométrico com duração de 120 dia num solo com apenas 1 % de Matéria orgânica). Esta cobertura deu assim indicações bastante promissoras, podendo num futuro próximo vir a ser uma solução viável para a substituição do polietileno convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Plástico de cobertura, Agricultura, Morango, Plásticos biodegradáveis, Polietileno, Mater-Bi™.

AGROBIOFILM project was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) managed by REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

ABSTRACT

The use of plastic mulch in agriculture had its beginning in the middle of last century and since then its use has been intensified and the costs of send this residue to appropriate final destination lead it often to be left or burned in open field, causing huge environmental concerns. The biodegradable mulch films, which can be incorporated in the soil at the end of the crop appear as a possible solution for this problem.

The goal of this work was to test the biodegradability of 5 plastic mulches, made from biodegradable polymers, comparing to conventional Polyethylene (PE).

The biodegradability was tested in laboratory by means of a respirometric test that followed the standard EN ISO 17 556, and in field conditions, by observation and calculation of the percentage of area lost, along the time, in net frames containing the various biodegradable plastics.

The field trials to assess fruit productivity and quality were performed during two years. One of the biodegradable mulches stands out for its good performance and seems as a very promising mulch that may be a viable replacement for conventional polyethylene.

KEYWORDS: Mulch film, agriculture, strawberry, biodegradable plastic, polyethylene, Mater-Bi™.

EXTENDED ABSTRACT

The use of plastic mulch in agriculture had its beginning in the middle of last century and since then its use has been intensified. The estimate world mulch film application is 700 000 ton/year (Espi *et al.*, 2006). Problems inherent to its disposal and recycling, such as cost, usually make the burning or abandon in the field the destination for these residues, causing huge environmental concerns. The biodegradable mulch films, which can be incorporated in the soil at the end of the crop, appear as a possible solution for this problem.

The goal of this work was to test the biodegradability of 5 plastic mulches, made from biodegradable polymers, comparing to conventional PE.

The biodegradability was tested in laboratory by means of a respirometric test that followed the standard EN ISO 17 556 and where the amount of CO₂ released was measured in order to determine the ultimate aerobic biodegradation of the material. In field conditions, biodegradability was evaluated by observation and calculation of the percentage of lost area in net frames, along the time, containing the various mulch films and cellulose as positive control. The nets were buried at a depth of approximately 20 cm and an angle of $\pm 20^\circ$, to avoid water accumulation, and removed every month.

The field trials to assess fruit productivity and quality took place in Azeitada, Ribatejo region, Portugal and were performed during two years.

The Withe on black biodegradable mulch film (Agrobiofilm 4) showed the lowest productivity, being the only modality significantly different from PE and black biodegradable mulch film from raw material Mater-Bi™, grade CF04P 100% virgin (Agrobiofilm 1).

The biodegradation tests should have been kept undergoing for a longer period, so that we could get more detailed conclusions. Nevertheless, they gave us important information about the behaviour of biodegradable mulches. Although the amount of lost area in the test under real field conditions was less than 1 % for all mulches, when removed from the soil, plastic mulches were much more fragile. Under controlled conditions, the aerobic biodegradation percentage within 120 days of Agrobiofilm 1 was near 2 %. The fact that cellulose hasn't reached the plateau phase indicates that the test should be performed a longer time. One of the biodegradable mulches stands out for its good performance and seems as a very promising mulch that may be a viable replacement for conventional polyethylene.

There are no biodegradation studies regarding the soil and the climatic conditions of Portugal, so there is a need for further studies to validate the results obtained.

Regarding the biodegradability in field conditions, there is a complete lack of information in this research area. Biodegradation in real field conditions has a total different dynamic that biodegradation in laboratorial controlled conditions and in five months couldn't be fully comprehended. More studies must be performed and for longer periods to assess the real biodegradability along time.

AGROBIOFILM project was funded by the European Union's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) managed by REA – Research Executive Agency – under the grant agreement number 262257.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
EXTENDED ABSTRACT	v
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
Plásticos no mundo.....	3
Na agricultura.....	3
Vantagens.....	5
Desvantagens.....	6
Tipos de plástico de cobertura.....	7
Convencionais.....	7
Coloridos.....	7
Degradáveis.....	8
Oxodegradáveis.....	7
Fotodegradáveis.....	8
Termodegradáveis.....	8
Biodegradáveis.....	8
Compostáveis.....	8
Bioplásticos.....	8
Mater-Bi™	10
A cultura do morango	10
3 - MATERIAL E MÉTODOS. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4 - CONCLUSÕES	45
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Distribuição por tratamento, dos resíduos de plástico gerados pelo consumidor final por sector na União Europeia (27), Noruega e Suíça em 2008 (adaptado PlasticsEurope, 2009).....	4
Tabela 2 - Principais produtores de biopolímeros (adaptado de Barker & Sanford, 2009)	9

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da produção de plástico no Mundo e na Europa (adaptado PlasticsEurope, 2009).....	3
Figura 2 – Distribuição de resíduos plásticos, gerados pelo consumidor final, por sector na União Europeia (27), Noruega e Suíça em 2008 (adaptado de PlasticsEurope, 2009).	4
Figura 3 – Percentagem de recuperação de resíduos de plástico de agricultura na União Europeia em 2008 (adaptado de PlasticsEurope, 2009).....	5
Figura 4 - Capacidade global de produção de bioplásticos (milhões de toneladas) (adaptado de european bioplastics org).....	9

Lista de abreviaturas

°	Graus
°Brix	Grau brix, sólidos solúveis totais
µm	Micrómetros
Ba(OH)₂	Bario hidroxide
C	Celsius
cm	Centímetros
CO₂	Dióxido de Carbono
Dt	Percent of biodegradation
g	Gramas
Gh	Greenhouse
INE	Instituto Nacional de Estatística
INIA	Instituto Nacional de Investigação Agrária
mg	Miligramas
mm	Milímetros
Of	Open field
PE	Polietileno
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
ThCO₂	Theoretical amount of CO ₂
U.S.A.	United States of America

1. INTRODUÇÃO

O consumo mundial de materiais plásticos na agricultura atinge 6,5 milhões de toneladas por ano (Scarascia-Mugnozza *et al*, 2011), mais de 10% do consumo total refere-se a plástico de cobertura do solo (Joue't, 2001) que cobre cerca de 4,5 milhões de hectares (Billingham *et al.*, 2003). A expansão da utilização de filmes plásticos na cobertura do solo resulta em aumentos de produção, precocidade da colheita, menor dependência de herbicidas e pesticidas e uma melhor preservação tanto da temperatura como da humidade no solo (Kyrikou & Briassoulis., 2007). Como consequência das suas excelentes propriedades, os filmes plásticos são amplamente utilizados à escala global. A principal consequência negativa resultante da utilização de plásticos na agricultura está relacionada com o impacto ambiental associado às práticas de gestão dos resíduos de plástico (Moreno & Moreno, 2008). Uma vez que as películas de plástico convencionalmente utilizadas hoje em dia são fabricadas a partir de polietileno, poli (cloreto de vinilo), polibutileno ou copolímeros de etileno com acetato de vinilo (Janssen & Moscicki, 2009), estas não podem ser degradadas no solo de forma natural, pelos microrganismos aí existentes. Uma grande parte dos resíduos de plástico é deixada nos terrenos agrícolas ou queimada sem controlo pelos agricultores, emitindo substâncias nocivas com consequências negativas para o meio ambiente (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006). Para aliviar a carga de poluição causada pela crescente utilização de filmes plásticos, diversas práticas têm vindo a ser desenvolvidas e adoptadas nas últimas décadas, incluindo a incineração, reciclagem, foto e biodegradação (Hemphil, 1993) e deposição em aterro (Clarke, 1996), sendo que na sua maior parte são soluções que apresentam algumas desvantagens. A reciclagem e a deposição em aterro são opções caras; a fotodegradação não é eficaz em ambientes específicos; nos EUA e na Alemanha, a recuperação de energia tem vindo a ganhar interesse como uma opção de gestão de resíduos de filmes de plástico uma vez que estes têm um elevado valor energético, sendo também uma opção cara (Clarke, 1996). De qualquer maneira, o aumento contínuo no consumo deste tipo de filmes levantou um grave problema de resíduos e poluição do solo. Desta forma, a introdução de filmes de cobertura biodegradáveis representa uma alternativa muito promissora para os filmes de plástico comuns (principalmente de polietileno), e um verdadeiro desafio para melhorar actividades agrícolas sustentáveis.

Estes filmes de cobertura de solo biodegradáveis têm a vantagem de poderem ser incorporados directamente no solo ou num sistema de compostagem no final da sua vida útil (Moreno & Moreno, 2008) e desta forma serem submetidos naturalmente ao

processo de biodegradação, através dos microrganismos presentes no solo ou no composto. A degradação destes materiais, no entanto, é gradual e não pode ser facilmente controlada (Kyrikou & Briassoulis, 2007) ou monitorizada. A sua possível biodegradação é um assunto muito importante com aspectos económicos e ambientais.

Os polímeros biodegradáveis podem ser divididos em dois tipos distintos: a) Polímeros como amido ou celulose, que são intrinsecamente biodegradáveis devido à sua estrutura química que permite uma degradação enzimática de forma directa e b) Os polímeros que quando expostos ao calor ou radiação UV sofrem oxidação térmica ou foto-oxidação, respectivamente (Sivan, 2011). O amido é um material de origem renovável derivado do milho e de outras culturas, sendo que a sua biodegradação é responsável pela reciclagem do CO₂ atmosférico capturado no amido das plantas produtoras. Os filmes de cobertura à base de amido podem ser produzidos através da mistura destes materiais com polímeros sintéticos (Gross & Bhanukalra., 2002). Mater-Bi™ é um resultado bem-sucedido de mistura de componentes sintéticos com amido (Bastoli, 1998).

O objectivo deste trabalho foi avaliar a biodegradabilidade de cinco plásticos de cobertura do solo produzidos a partir de polímeros biodegradáveis em comparação com o polietileno (PE) utilizado convencionalmente, na cultura do morango, uma vez que esta cultura tem uma longa história de uso de plástico de cobertura.

No capítulo 2 é apresentada uma breve revisão sobre a cultura de morango e sobre a utilização de plásticos de cobertura de solo, as suas principais vantagens e desvantagens e os tipos de plásticos utilizados.

No capítulo 3, em formato de submissão a revista científica, são apresentadas as metodologias, os principais resultados e discussão dos mesmos.

No capítulo 4 encontram-se as principais conclusões deste estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Plástico no mundo

Em 2009, a Europa produziu 55 milhões de toneladas de plástico e manteve-se como a maior região de produção, contribuindo com 24 % para o total global. (PlasticsEurope, 2010). Segundo a Comissão Europeia, a China é o país que mais produz representando cerca de 15 % do total. (Comissão Europeia, 2011)

O aumento de produção de plásticos desde 1950 até 2008 foi imenso, passando de apenas 1,5 milhões para 245 milhões de toneladas. No entanto, devido ao abrandamento económico, a produção de plásticos no mundo sofreu um revés e baixou, em 2009, para 230 milhões de toneladas (PlasticsEurope, 2010). O PE é o polímero com a maior fatia da produção mundial (Plasticnews, 2012).

A evolução da produção de plásticos no mundo e na Europa está representada na **Figura 1**.

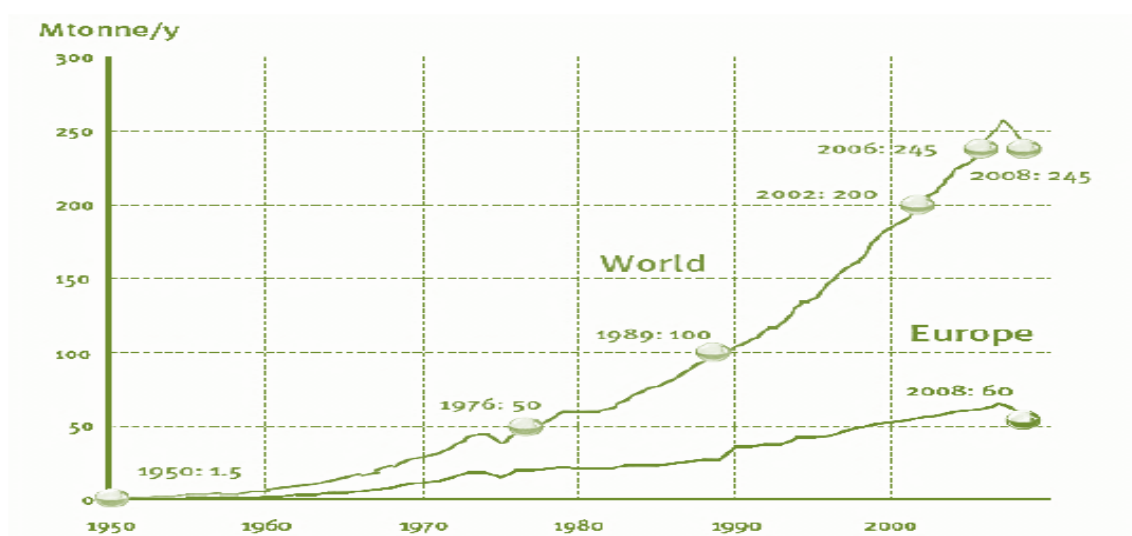


Figura 1 – Evolução da produção de plástico no Mundo e na Europa (adaptado PlasticsEurope, 2009)

Na agricultura

O consumo mundial de materiais plásticos na agricultura atinge 6,5 milhões de toneladas por ano (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011), sendo mais de 10 % do consumo total referente a plásticos de cobertura do solo (Joue't, 2001), cobrindo uma área de cerca de 4,5 milhões de hectares (Billingham *et al.*, 2003).

Na Europa, as estatísticas oficiais apontam para que os plásticos agrícolas representem apenas 2 % do plástico consumido (Plasticsconverters, 2012), representando um total de cerca de 200 000 toneladas (PlasticsEurope, 2009).

O total de resíduos de plásticos gerados pelo consumidor final em 2009 foi de 24,3 milhões de toneladas. Desse total, apenas 13,1 milhões de toneladas foram recuperadas (PlasticsEurope, 2009). Só na União Europeia, a agricultura gera entre 400 e 600 mil toneladas de resíduos plásticos por ano (Bos *et al.*, 2007). A distribuição por método de valorização e eliminação, dos resíduos de plástico gerados pelo consumidor final por sector na União Europeia (27), Noruega e Suíça em 2008 está representada na tabela abaixo (**Tabela 1**), a distribuição por sector na mesma região e para o mesmo período está representada na **Figura 2** e a taxa de recuperação deste materiais é apresentada na **Figura 3**.

Sector	Plastic waste generated (Mt)	Disposal (%)	Mechanical recycling (%)	Feedstock recycling (%)	Energy recovery (%)
Packaging ¹⁴⁷	15.6	41.8	28.5	0.5	29.2
C&D	1.4	49.1	15.9	-	35.0
ELV	1.2	79.8	8.6	0.5	11.1
Agricultural	1.2	53.5	21.1	-	25.3
WEEE	1.1	55.2	7.6	-	36.2

Tabela 1 - Distribuição por tratamento, dos resíduos de plástico gerados pelo consumidor final por sector na União Europeia (27), Noruega e Suíça em 2008 (adaptado PlasticsEurope, 2009).

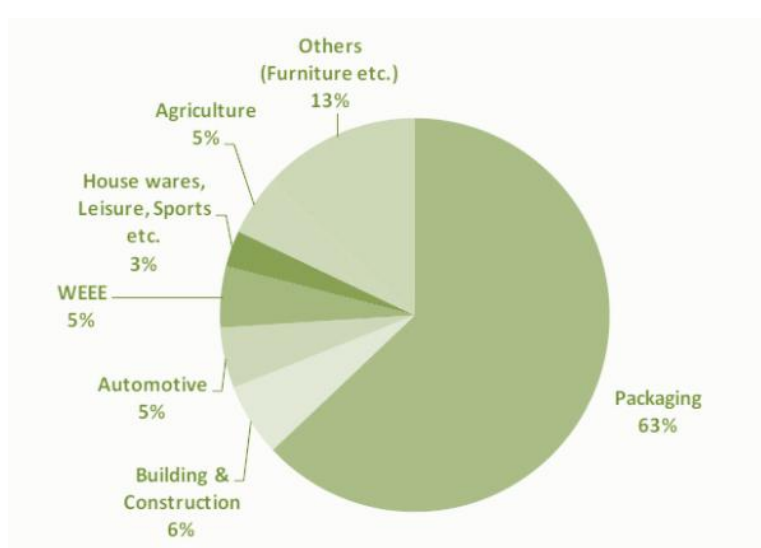


Figura 2 – Distribuição de resíduos plásticos, gerados pelo consumidor final, por sector na União Europeia (27), Noruega e Suíça em 2008 (adaptado de PlasticsEurope, 2009).



Figura 3 – Percentagem de recuperação de resíduos de plástico de agricultura na União Europeia em 2008 (adaptado de PlasticsEurope, 2009).

Vantagens

A afirmação dos plásticos para cobertura de solo tem vindo a ocorrer ao longo do tempo devido às diversas vantagens agronómicas e ambientais por eles conferidas (Agrobiofilm, 2010), sendo estas:

- Aumento e precocidade da produção: pelo aumento da temperatura do solo o desenvolvimento da cultura dá-se mais rapidamente, antecipando a produção (Lamont, 1993).
- Controlo de infestantes: eliminam ou reduzem substancialmente a utilização de herbicidas uma vez que o plástico habitualmente é preto e não permite que a luz chegue ao solo, não permitindo que as infestantes se desenvolvam. (McCraw & Motes, 2007; Agrobiofilm, 2010)
- Redução no consumo da água de rega: reduzem a frequência de utilização e da quantidade de água para irrigação. Regulam a humidade do solo através da

sua elevada impermeabilidade que leva à redução da evapotranspiração em períodos secos e protegem as raízes de humidade excessiva em períodos de precipitação. Este último também previne doenças associadas ao excesso de humidade do solo (McCraw & Motes, 2007; Agrobiofilm, 2010; Lamont, 1993).

- Redução das perdas por lixiviação: Uma vez que o plástico funciona como barreira para o excesso de água, não permite que esta chegue ao solo, evitando que o fertilizante que se encontra sob o plástico seja perdido por lixiviação (McCraw & Motes, 2007.; Locascio *et al.*, 1985).
- Retenção de nutrientes na zona radicular: uma vez que também não se perdem por lixiviação, os nutrientes podem ser usados de forma mais eficiente pelas plantas (Cannington *et al.*, 1975).
- Aumento da qualidade do produto: hortícolas limpos uma vez que não estão em contacto com o solo (Lamont, 1993; McCraw & Motes, 2007).
- Redução da compactação do solo: o solo sob o plástico de cobertura mantém-se bem arejado, solto e friável (Hankin *et al.*, 1982; McCraw & Motes, 2007).

Desvantagens

Os filmes de cobertura tradicionais também apresentam problemas significativos:

- Remoção e destino final adequado: Essas actividades são dispendiosas e mesmo quando são efectuadas, não são eficazes. É muito difícil remover 100% dos resíduos do campo e o que é removido, é de difícil reciclagem ou valorização devido á quantidade de contaminantes (solo e resíduos vegetais). Muitas vezes, os resíduos de plástico de cobertura de solo são deixados ou queimados sem controlo no campo, emitindo substâncias nocivas com consequências negativas para meio ambiente (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006).

A introdução de filmes de cobertura biodegradáveis representa uma alternativa muito promissora para substituir os filmes de plástico comuns (principalmente de polietileno), e um verdadeiro desafio para melhorar actividades agrícolas sustentáveis. De facto, já nos anos 60 do século passado, os plásticos foto ou biodegradáveis eram apontados

como uma solução para o problema de deposição associado aos plásticos convencionais (Lamont, 1993).

Tipos de plástico de cobertura

Convencionais: o polietileno é um termoplástico da família das poliolefinas e é o mais utilizado devido às suas características: leveza, propriedades ópticas, térmicas e de impermeabilidade, inércia química e fisiológica, imputrescibilidade e resistência mecânica (Semedo, 1969)

Coloridos: Várias cores de plásticos de cobertura têm sido usadas ao longo do tempo. Cada cor confere características específicas à cobertura:

- Preto: cor predominante nos plásticos de cobertura de solo. Promove a precocidade da colheita e o controlo de infestantes (Greer & Dole, 2003; Lamont, 1999);
- Transparente: é normalmente utilizado em regiões mais frias de modo a que o efeito de estufa promova o desenvolvimento da planta e permita a precocidade da colheita. Não controla as infestantes pelo que é necessário o uso de outro método para este efeito. (Greer & Dole, 2003; Lamont, 1999);
- Branco, branco e preto ou reflector: podem conseguir uma ligeira diminuição da temperatura. No caso da cor branca, pode aumentar as pragas, e dependendo da opacidade, pode ser necessário o uso de outro método de controlo de infestantes (Greer & Dole, 2003; Lamont, 1999);
- Prateado de alta reflexão: o solo sob esta cobertura será vários graus mais fresco do que com plástico de cobertura de cor preta. Também aumenta a produção e diminui pragas (Greer & Dole, 2003; Lamont, 1999)
- Amarelo: controla as infestantes mas pode atrair pragas (Greer & Dole, 2003; Lamont, 1999);
- Vermelho: precocidade de colheita e bom controlo de infestantes (Greer & Dole, 2003).

Degradáveis: plásticos que podem sofrer alteração da sua estrutura química, implicando uma importante modificação das suas propriedades. As alterações podem ser químicas (fotodegradação, oxodegradação, termodegradação) ou através de microorganismos (biodegradação) (Agrobiofilm, 2010).

- **Oxodegradáveis:** podem ser foto ou termo degradáveis. O efeito principal da oxidação é a fragmentação em pequenas partículas, que permanecem no ambiente por um tempo indeterminado, tornando incontrolável a sua deposição e eliminação final. Não são compostáveis de acordo com as normas EN 13432 e ASTM 6400. (Agrobiofilm, 2010).
 - Fotodegradáveis: a sua degradação é devida à exposição à radiação solar (Kijchavengkul *et al.*, 2007).
 - Termodegradáveis: a degradação ocorre quando são expostos ao calor (Kyrikou & Briassoulis, 2007)
- **Biodegradáveis:** decomposição aeróbia de compostos orgânicos por microorganismos em dióxido de carbono, água, sais minerais e biomassa ou decomposição anaeróbia em dióxido de carbono, metano, sais minerais e biomassa (EN13432; ASTM D 6400-99; Agrobiofilm, 2010). Em Portugal, a “Estratégia Nacional para programas operacionais sustentáveis de organizações de produtores de frutas e produtos hortícolas”, 2009, constitui o único incentivo legal ao uso de plásticos biodegradáveis na agricultura (Agrobiofilm, 2010)
 - **Compostáveis:** plásticos de cobertura capazes de sofrer biodegradação, durante a compostagem, em CO₂, água, compostos inorgânicos e biomassa a uma taxa consistente com a de outros materiais compostáveis não deixando qualquer resíduo (ASTM D-6400.99; ASTM D-2096.04)

Bioplásticos: são plásticos derivados de recursos renováveis, tais como amido, açúcar, celulose, lenhina, óleo vegetal ou pasta de madeira, podendo ser biodegradáveis ou não (Barker & Safford, 2009; Comissão Europeia, 2011). A produção de bioplásticos no mundo é de aproximadamente 300 mil toneladas por ano, o que equivale a cerca de 0,1 % da produção mundial de plástico (Barker & Safford, 2009). Na Europa, estima-se que o consumo de bioplásticos seja cerca de 0,1 % do consumo total da UE e 0,25 % do mercado de plásticos mundial em 2009 (plasticseurope, 2010; Comissão Europeia, 2011). A **Figura 4** representa a capacidade global de produção de bioplásticos e a **Tabela 2** mostra os principais produtores de biopolímeros com o respectivo volume de produção.

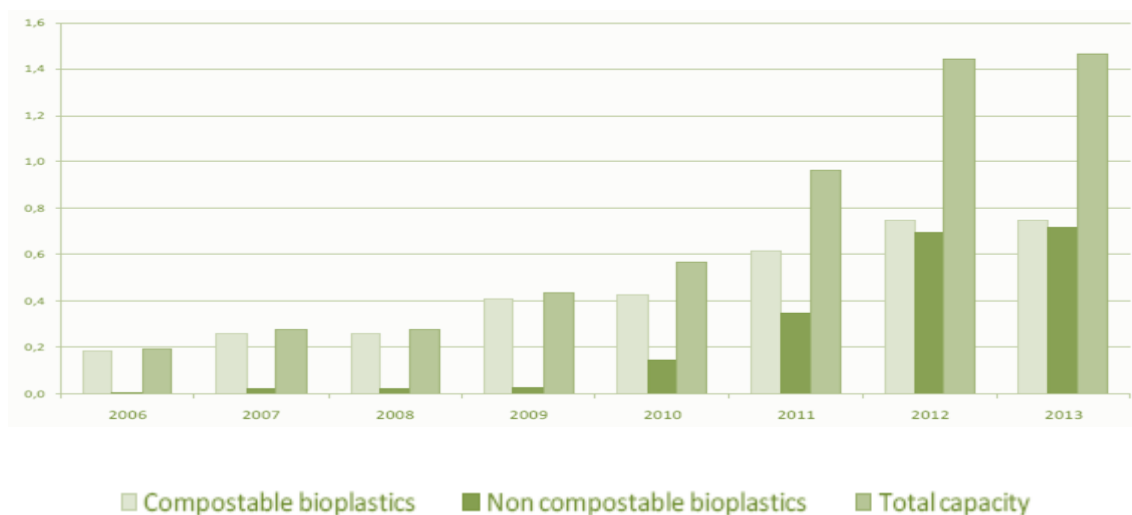


Figura 4 - Capacidade global de produção de bioplásticos (milhões de toneladas) (adaptado de european bioplastics org).

Manufacturer	Country	Product	Production volume (applications)
NatureWorks	USA	PLA	0.14 Mt/year (films, moulding, fibers)
PURAC	Netherlands	PLA	0.08 Mt/year
Novamont	Italy	Mater-Bi	0.06 Mt/year (films, moulding, extrusion)
Metabolix	USA	Polyhydroxybutyrate (PHB)	0.03 Mt/year, plant to become operational in 2009 (moulding, films)
Rodenburg Biopolymers	Netherlands	Solanyl	0.04 Mt/year (films, moulding, extrusion)
Tate & Lyle	UK	1,3-propanediol	In partnership with Dupont (USA). Future production estimated between 0.023-0.045 Mt/year
GALACTIC	Belgium	Galactic (PLA)	0.025 Mt/year
BASF	Germany	Ecoflex® (biodegradable polyester petroleum-based)	0.014 Mt/year (films, moulding)
Innovia Films	UK	Cellulose acetate	0.0025 Mt/year (films, injection moulding)
Hycail (bought by Tate & Lyle in 2006)	Netherlands	PLA	Pilot production stage
Uhde Inventa-Fisher	Germany	PLA	Pilot production stage
Biomer	Germany	Biomer (PHB)	-
Boehringer Ingelheim	Germany	Resomer (PLA)	-

Tabela 2 - Principais produtores de biopolímeros (adaptado de Barker & Safford, 2009).

Os filmes de cobertura de solo biodegradáveis têm a vantagem de serem capazes de sofrer biodegradação por microrganismos ao serem incorporados no solo ou num sistema de compostagem (Moreno & Moreno, 2008). A sua possível biodegradação é um assunto da maior importância uma vez que é gradual e não pode ser facilmente

controlada (Kyrikou & Briassoulis, 2007). Para este estudo foram utilizados bioplásticos biodegradáveis de matéria-prima Mater-Bi™ da italiana Novamont.

Mater-Bi™

Mater-Bi™ é a primeira família de biopolímeros que utiliza substâncias obtidas a partir de vegetais, tal como amido de milho, não perdendo a estrutura química gerada pela fotossíntese. Através da combinação de quantidades variáveis de Mater-Bi™ com agentes complexantes biodegradáveis (derivados a partir de fontes renováveis, sintéticos ou mistos) uma grande variedade de estruturas moleculares são criadas, com uma vasta gama de propriedades. A matéria-prima Mater-Bi™ pode ser processada utilizando as técnicas de transformação mais comuns para fazer produtos com características semelhantes, ou ainda melhores do que os derivados de plástico tradicionais, mas que são perfeitamente biodegradáveis e compostáveis (Agrobiofilm, 2010).

A cultura do morango

Segundo o INE (estatísticas agrícolas, 2011) a produção de morango em Portugal em 2011 foi de 543 ha correspondendo a 22.585 toneladas.

O morangueiro pertence à família Rosaceae e as cultivares mais difundidas pertencem à espécie *Fragaria x ananassa* (Disqual, 2011). É uma planta herbácea, perene, em que 50 a 90% das raízes se localizam nos primeiros 15 a 20 cm do solo, e 25 a 50 % nos primeiros 7,5 cm. A temperatura óptima de crescimento das raízes durante a rizogénese situa-se entre 17-30 °C (Palha *et al.*, 2005).

O caule curto é um rizoma estolhoso, do qual emergem as folhas trifoliadas, para formar um conjunto denominado normalmente por “coroa”. A planta do morangueiro pode ser constituída por uma ou mais coroas e em cada uma destas crescem folhas, inflorescências e estolhos, coroas ramificadas e raízes adventícias (Palha *et al.*, 2005). As folhas possuem três folíolos e os pecíolos possuem duas estípulas de protecção na sua base, onde se encontram os gomos. Estes podem evoluir formando estolhos ou novas coroas. A temperatura óptima de crescimento situa-se entre os 18-28 °C (Palha *et al.*, 2005).

A inflorescência terminal tem um número variável de flores pentâmeras com pedúnculos compridos revestidos de pêlos, agrupam-se em corimbos. As flores primárias de cada inflorescência são as primeiras a frutificarem, sendo que estes

frutos de maiores dimensões. As flores secundárias e terciárias, por sua vez, possuem um menor número de pistilos e originam frutos menores (Palha *et al.*, 2005).

Os aquênios, dispostos num receptáculo hipertrofiado carnudo e de cor vermelha constituem os frutos. No entanto, é comum designar-se por fruto o conjunto constituído pelos aquênios e pelo receptáculo (Palha *et al.*, 2005).

O morangueiro é originário de climas frescos e húmidos, mas no entanto existem cultivares bem adaptadas a climas quentes e secos, que apenas necessitam que haja disponibilidade de água para rega. A parte vegetativa da planta do morangueiro é bastante resistente às geadas, no entanto as temperaturas inferiores a zero graus durante a fase de floração, destroem as suas flores. A maior parte das variedades cultivadas necessita de um período de repouso vegetativo que varia com a cultivar e que são determinantes na escolha da mesma. São necessárias temperaturas inferiores a 7°C, para formar um número adequado de folhas e obter uma boa produção na Primavera seguinte (Palha *et al.*, 2005).

Em zonas onde a temperatura média oscila à volta dos 23-25 °C, a planta apresenta os seus melhores resultados culturais. Durante a floração as baixas temperaturas são responsáveis pelo aparecimento de deformações nos frutos. O desenvolvimento vegetativo do morangueiro é fortemente influenciado não só pela temperatura, mas também pelo fotoperíodo. Esta influência faz-se notar principalmente na época em que se produz a diferenciação floral (Disqual, 2011).

As cultivares de dias curtos são não remontantes e não reflorescentes. A iniciação floral ocorre durante os dias em que o fotoperíodo é inferior a 14 h ou em condições de dias longos desde que as temperaturas sejam inferiores a 15 °C (Palha *et al.*, 2005). Exemplo de cultivares de dias curtos: Camarosa, Chandler, Osso Grande, Douglas, Sequoia, Tudla, Dorit. Seascape. (Disqual, 2011) e Honor (Vivero El Pinar, 2012).

Para este estudo foram utilizadas as variedades Honor, no primeiro ano, e Camarosa, no segundo ano de ensaios de campo.

A cultivar Honor caracteriza-se por ser uma variedade de dias curtos, com elevada produtividade, de estatura média, muito resistente a doenças, com frutos vermelhos, grandes, firmes e saborosos, fáceis de apanhar e que têm uma maior duração após a colheita (Vivero El Pinar, 2012)

A cultivar Camarosa é actualmente a mais difundida no nosso país. É uma planta vigorosa, com um porte intermédio-erecto. A tolerância ao calcário e a algumas doenças fúngicas da parte radicular e aérea é moderada. As suas longas

inflorescências facilitam a colheita e os frutos têm um calibre médio a elevado e uma cor vermelha intensa, são cónicos ou cónico alongados, doces e com uma qualidade gustativa média a boa, são consistentes, o que proporciona uma boa capacidade de resistência ao transporte e uma boa aptidão para a conservação (Disqual, 2011).

As cultivares de dias longos são remontantes e a iniciação floral ocorre pela acção de dias com mais de 14 horas de luz. Em Portugal, estas cultivares praticamente não se utilizam (Palha *et al.*, 2005).

As cultivares de dia indiferente, são remontantes ou indiferentes à duração do dia (Palha *et al.*, 2005; Disqual, 2011). Estas cultivares assumem actualmente um papel muito importante no alargamento do período de produção, pois permitem a produção de frutos durante todo o ano. Em condições favoráveis ao crescimento, a frutificação ocorre aproximadamente 3 meses após a plantação (Durner *et al.*, 1984). No entanto, tanto as altas como as baixas temperaturas podem provocar abrandamentos ou até paragens da diferenciação floral, levando a quebras de produção ao longo do ciclo (Palha *et al.*, 2005). Exemplos de cultivares de dias indiferente: Irvine, Selva, Fern, Seascape (Disqual, 2011).

Em solos compactos, que têm tendência para encharcar no Inverno e Primavera, o desenvolvimento das plantas de morangueiro é muito reduzido; o frágil sistema radicular fica muito superficial e, por isso, mais sujeito à asfixia e à escassez de água. Embora em solos arenosos a maturação dos frutos seja antecipada, as melhores produções de morango encontram-se em solos francos, com melhor retenção de água. O pH óptimo para a cultura situa-se entre 5,5 e 6,5. O excesso de calcário no solo é preocupante, uma vez que ao tornar o ferro insolúvel para as plantas, provoca um crescimento reduzido e aparecimento de cloroses nas folhas. O morangueiro também é muito sensível à salinidade do solo e da água de rega. Além do reduzido tamanho das plantas, também o número de inflorescências diminui e o vingamento é afectado (Disqual, 2010; Palha *et al.*, 2005)

O Ribatejo e Oeste, representam cerca de 50-60% da produção nacional (Palha *et al.*, 2005). Sendo que, esta região, o Algarve e o Alentejo se destacam como as principais zonas de produção de morango. A Beira Litoral e Trás-os-Montes, embora menos representativas assumem importância por produzirem morango fora de época. (Disqual, 2011)

Na região do Ribatejo a variedade predominante é a Camarosa, devido à sua boa adaptação à região (Palha *et al.*, 2005).

A plantação outonal decorre durante o mês de Outubro e a produção decorre de Janeiro a Abril e normalmente utiliza cultivares de dias curtos, embora também se possa utilizar cultivares de dia indiferente (Palha *et al.*, 2005).

A plantação estival decorre em Julho, e o período de produção decorre de Setembro a Dezembro, sendo a produção fora da época e por isso muito valorizada. As cultivares utilizadas são de dia indiferente (Palha *et al.*, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Os capítulos referentes aos materiais, métodos, resultados e discussão são apresentados nas páginas seguintes em formato de artigo, já submetido a revista científica da especialidade - *The journal of horticultural science & biotechnology*.

Study of the biodegradability of bioplastics on strawberry crop

By RAQUEL COSTA*¹, ARTUR SARAIVA¹, LOPO CARVALHO¹ AND
ELIZABETH DUARTE¹

¹ Unidade de Investigação de Química Ambiental, Instituto Superior de Agronomia,
Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

(e-mail: raquelaccosta@hotmail.com)

* Author for correspondence

Biodegradability of bioplastics on strawberry crop

Word count: 4 455

Number of tables: 6

Number of figures: 5

SUMMARY

The use of plastic mulch in agriculture had its beginning in the middle of last century and since then its use has been intensified. The costs of send this residue to appropriate final destination lead it often to be left or burned in open field, causing huge environmental concerns. The biodegradable mulch films, which can be incorporated in the soil at the end of the crop appear as a possible solution for this problem. The goal of this work was to test the biodegradability of 5 plastic mulches, made from biodegradable polymers, comparing to conventional Polyethylene (PE). The biodegradability was tested in laboratory by means of a respirometric test that followed the standard EN ISO 17 556, and in field conditions, by observation and calculation of the percentage of area lost in net frames containing the various biodegradable plastics along the time. The field trials to assess fruit productivity and quality were performed during two years. One of the biodegradable mulches stands out for its good performance and seems as very promising mulch that may be a viable replacement for conventional polyethylene.

Keywords: Mulch film, agriculture, strawberry, biodegradable plastic, polyethylene, Mater-bi™.

Agriculture consumes 6.5 million tons/year of plastic materials (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011) more than 10% of which, are plastic films for soil mulching (Joue't, 2001) that cover about 4.5 million hectares (Billingham *et al.*, 2003). The expanding use of plastic films results in increased yields, earlier harvests, less reliance on herbicides and pesticides, better preservation of soil temperature and more efficient conservation of water and fertilization (Kyrikou and Briassoulis., 2007). As a consequence, of their excellent properties, plastic films are used worldwide and in different crop species. The main negative consequence of using plastics in agriculture is related to the handling of the plastic wastes and the associated environmental impact (Moreno and Moreno, 2008). Because the common plastic films used today are made from polyethylene, poly (vinyl chloride), polybutylene or copolymers of ethylene with vinyl acetate (Janssen and Moscicki., 2009) they cannot be naturally degraded in the cultivated land. A large portion of plastic residues is left on the field or burned uncontrollably by the farmers, producing harmful substances with the associated negative consequences to the environment (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006). To alleviate the pollution burden caused by plastic films, several practices have been developed, including incineration, recycling, photo and biodegradation (Hemphil, 1993) and send to land fill (Clarke, 1996). But most of them have disadvantages, recycling and sending to land fill are expensive; photodegradation may have poor performance in specific environments; In U.S.A. and Germany, energy recovery is gaining interest as a waste management option since plastic films have a high energy value, but it is also an expensive solution (Clarke, 1996). In any way, the continuous increase in the consumption of films led to the serious waste problems and soil pollution that we are facing actually. Accordingly, the introduction of biodegradable mulching films represents a really promising alternative to the common

(mostly polyethylene) plastic films, a real challenge for enhancing sustainable and environmentally friendly agricultural activities. These biodegradable mulching films have the advantage of being disposed directly into the soil or into a composting system at the end of their lifetime (Moreno and Moreno, 2008) and undergo biodegradation by soil microorganisms. The degradation of these materials, however, is gradual and cannot be easily controlled (Kyrikou and Briassoulis, 2007). Their possible biodegradation it's a very important subject with economic and environmental aspects. Biodegradable polymers may be of two types: a) Polymers as starch or cellulose that are intrinsically biodegradable due to their chemical structure that enables direct enzymatic degradation, and b) Polymers that when exposed to UV or heat undergo photo oxidation or thermo oxidation, respectively (Sivan, 2011). Starch is an annually renewable material derived from corn and other crops and its biodegradation recycles atmospheric CO₂ trapped by starch-producing plants. Starch-based mulches can be produced by the blend or the mix of these materials with synthetic polymers (Gross and BhanuKala, 2002). Mater-Bi trademark is a successful result of blending the synthetic component with starch (Bastoli, 1998).

The aim of this work was to assess the biodegradability of five plastic mulches made from biodegradable polymers when compared to conventional PE, on strawberry crop, since this culture has a long record in plastic use.

MATERIALS AND METHODS

Experimental location, soil and climate

The field trials took place in Azeitada (Latitude: 39° 09' 35N; Longitude: 8° 40' 24W), from the Ribatejo region in Portugal, being performed by a local farmer and followed during two crop cycles.

The soil is characterized as an old fluvisols (SRA, 1977) with a loamy sand texture. It is considered a very poor soil, due to the very low amount of organic matter (1%) and slightly acid (pH (H₂O) between 5.5 and 6.5).

The climate of this area is classified as temperate with dry and hot summer and wet winter, according to the Köppen climate classification (Instituto de Meteorologia, 2011).

Experimental design and set up

All biodegradable mulches used in the trials were produced with raw material Mater-Bi™. The characteristics of the tested mulches are present in Table I.

Field trials

During the field trials, the parameters assessed were the productivity and quality, the climatic conditions, temperature and humidity of the soil and the biodegradation of the mulches.

For the monitoring of the meteorological conditions, in addition to the data of the national hydric resources information (SNIRH), was also placed in field trial a meteorological station that measure air temperature, relative humidity, solar radiation and rainfall. For data gathering and storage was used a Campbell Scientific data logger (model CR1000).

First cycle, it started in October 2010, ended in May 2011 and the strawberry cultivar used was “Honor”. For the productivity and quality assessment, five rows were stretched for Agrobiofilm 1 and Polyethylene (PE) in open field conditions. Only the

three inner lines were considered for the trial, to prevent potential border effects. Three monitoring plots were randomly chosen for each modality containing 25 plants each.

The stretching of the plastics and the opening of the holes for plants was performed mechanically and the planting was done manually.

Equipment and cultural practices used were the same for both biodegradable and polyethylene mulch films.

Fruit harvesting was done three times per week, during 10 weeks and the total productivity per plant and per hectare was assessed. Aiming the fruit quality, total soluble solids (°Brix) was measured by refractometry. To perform the analysis, 200 g of strawberries were sampled, per each mulch treatment every harvesting day.

In order to monitor the soil temperature and humidity in the field trials, three “Decagon 5TM” probes were placed under the mulch films, at three different depths, 10, 20 and 30 cm.

As the farmer also performed an area with production under greenhouse (Gh) using the same mulches, it seemed interesting to follow the fruit productivity and quality, according to the experimental design of the open field trials. Unfortunately it was not possible to monitor air or soil conditions.

Second cycle, the second year of field trails started in October 2011, ended in June 2012 and the strawberry cultivar used was “Camarosa”. The mulches tested were Agrobiofilm 1, 2, 3 and 4, NF and PE. For the productivity and quality assessment, a row per modality was stretched in open field conditions. Three plots were randomly chosen in each modality containing 10 plants per plot. Once again the equipment and the cultural practices used did not change by the use of biodegradable mulches. Fruit harvesting and °Brix measurements lasted for 11 weeks the procedure followed was the same used for

the 1st cycle. The soil monitoring also followed the procedure of the 1st cycle for all mulches but only two depths were monitored, 10 and 20 cm, due to the increase in the number of mulches to be monitored and since it is the area on which 50 to 90% of the roots are located (Palha *et al.*, 2005).

Biodegradation test under real field conditions, from April to September 2012, new mulch samples were placed in plastic net frames (approx. 20x20 cm) and buried next to the field trials at a depth of approximately 20 cm and an angle of approximately 20° to avoid water accumulation.

Modalities used:

- Reference material for checking the soil activity (positive control – cellulose filter);
- Non-biodegradable material (negative control - PE);
- All the modalities of Agrobiofilm from 1st and 2nd trials.

Fifteen frames were used for each modality on a total of 105 frames. Three replicates were taken for each modality per month, during 5 months. The climate conditions were measured by the weather station.

The measurements of the amount of lost area were performed by using the image analysis software Image J, after taking the mulch samples from the net frames, wash them from soil and roots removal.

Image J is a public domain Java image processing program developed at the National Institutes of Health, U.S.A.. It makes possible to solve many image processing and analysis problems (<http://rsb.info.nih.gov>, 2012).

Biodegradation test under controlled conditions, measured in order to determine the ultimate aerobic biodegradation of Agrobiofilm 1 respirometric test was performed according to DIN EN ISO 17556, between May and September 2012. Agrobiofilm 1 was selected for performing this test since it was the common mulch used in the two crop cycles of the field trials and it showed a good performance.

The soil used as inoculum was sampled from the field trials according to the internal method of National Institute for Agricultural Research (INIA, 2012).

Before starting the test, it was necessary to correct the soil pH to values within the parameters of the standard. Then, the soil was pre-exposed (at about 50% of the water retention capacity) to the biodegradable plastic and incubated at $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for 6 days. After this period, the respirometric test began.

In each glass flask were introduced 300 g of pre-exposed soil, 200 mg of mulch or cellulose cut into small pieces (<2 mm) and a container with a $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solution for the retention of the CO_2 released. The flasks were opened regularly to allow aeration and replacement of the $\text{Ba}(\text{OH})_2$ solution. In this test was also used an additional empty flask to determine the amount of CO_2 present in the air entering into the flasks during the aeration period. The flasks were maintained at $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

The theoretical amount of CO_2 (ThCO_2) produced by each material and the percentage of biodegradation (Dt) were calculated by applying the formulas in the standard.

Statistical analysis, data were subjected to analysis of variance ($\alpha=0,05$) and the difference between means was determined with the Tukey test.

RESULTS AND DISCUSSION

Meteorological data

During the period of field trials, from 2010 to 2012, the air temperature and solar radiation were similar when compared with the average of the previous eight years (2002 to 2009).

Regarding to rainfall and air humidity there were some differences to point out. In 2010 there was 20% less rainfall, the reduction was 50% in 2011 and 44% in 2012, when compared with the average of the previous eight years. These reductions in precipitation led to a lower relative humidity in these years. However, the differences observed are not enough to describe these years as atypical. In previous years there were other periods with low rainfall, being 2007 the year with the lowest rainfall in the period from 2002 to 2012.

Field trials

First cycle

Fruit productivity and quality, the fruit productivity and the quality of the 1st cycle are showed in Table II. From the evaluation of the Table II can be stated that for the 1st year of field trials there were no significant differences between the fruit productivity and quality of the two tested mulches, for $\alpha=0.05$ level of significance.

Soil monitoring, the temperature and the moisture content of the soil for the depths of 10, 20 and 30 cm are showed in Table III. From the analysis of Table III results, Agrobiofilm 1 and PE showed both a good performance, as regards the soil temperature, since the optimal temperature for the development of the strawberry plant roots ranges between 17 and 30°C (Palha *et al.*, 2005) and average temperatures under both mulches are found within these values. The average relative humidity is higher in Agrobiofilm 1, at 10 and 20 cm depth were 50 to 90% of the roots are (Palha *et al.*, 2005). This leads us

to believe that the use of the water was more efficient with the Agrobiofilm 1. Although our data do not confirm, Magnani *et al.* (2005) observed in muskmelon crop that the biodegradable films have higher soil evaporation than PE, and this lead to a lower accumulation of water in the fruit and to a positive effect on some quality parameters such as total soluble solids.

Greenhouse, the results from fruit productivity and quality under greenhouse are shown in Table IV. As in open field conditions, there were no significant differences between the productivity of the two mulches. In terms of fruit quality Agrobiofilm 1 Gh average °Brix was significantly different from PE Gh average °Brix, for $\alpha=0.05$ level of significance.

Second cycle

Fruit productivity and quality, table V shows the results obtained for the fruit productivity and quality, during the 2nd year of field trial, under open field conditions. From the evaluation of the results, the only difference between modalities is related to the fruit productivity. Agrobiofilm 4 fruit production results were significantly different from PE and Agrobiofilm 1, the modalities with higher production yields. There were no other significant differences between the tested modalities, for $\alpha=0.05$ level of significance

Soil monitoring, there were some technical problems with particular probes during the second crop cycle; therefore it is only possible to analyse the results of Agrobiofilm 3, Agrobiofilm 4 and NF as shown in Table VI. As referred above, the optimal temperature for roots development of strawberry plants stands between 17 and 30°C (Palha *et al.*, 2005) and average temperatures under the three tested mulches are found within this range of values, they all had a good performance. The average moisture content was very low, but since there is no PE for comparison, no more observations can be made. It can only be said that compared to PE of the previous year, moisture content values for these three mulches are about 30% lower.

Biodegradation test under real field conditions, the measurement of the extent of lost area was done after taking the mulch samples from the net frames and washing them for soil and roots removal. Figure 1 shows the frames in different stages of the process and Figure 2 shows a detail of a root on the surface of the mulch after removing from soil. The percentage of lost area, calculated with Image J is represented in Figure 3. The statistical analysis of data shows that there are no interaction effects between mulches

and the time in soil ($\alpha=0,05$). This fact may be explained by rainfall that only occurred in the first two months of the trial and may have triggered the start of biodegradation. But after that, the soil became so dry that no biodegradation took place. Apart from this, cellulose is significantly different from all other modalities, for a $\alpha=0,05$ level of significance.

Since these five months have been insufficient to observe differences in the lost area from the different mulches, it would be interesting to carry out an extended study, in order to understand this behavior over the time.

Biodegradation test under controlled conditions, the amount of CO₂ released was measured indirectly by titration of the Ba(OH)₂ solution and the CO₂ accumulated along the time is represented in Figure 4. The percentage of biodegradation (Dt) was calculated by applying the formulas in the standard and the result is showed in Figure 5. From the statistical analysis, it can be said that Soil+Cellulose is significantly different from all the other modalities. As the values of cellulose are much higher than the others, the differences that may exist between Soil+Agrobiofilm 1, Soil+PE and just Soil are not perceptible. So it was decided to make a new statistical analysis, without considering Soil+Cellulose. In this new scenario, the soil is significantly different from Soil+Agrobiofilm 1 and Soil+PE. There are no other significant differences between the modalities, for $\alpha= 0,05$ level of significance.

These results are consistent with those achieved in other research work also performed with Mater-biTM mulches. In that study, Mater-biTM achieved 10% of biodegradation in a respirometric test of 90 days, however it was carried out with soil having a much higher organic matter, about 4% (Barragán *et al*, 2010).

CONCLUSIONS

The equipment and cultural practices used did not change by the use of biodegradable mulches. Agrobiofilm 1 was the biodegradable mulch that showed better results in both production cycles when compared with PE.

Under greenhouse, fruit productivity and quality of this mulch was higher, and significantly different, to conventional PE. These results are complemented by good temperature and moisture content of the soil. The good results obtained by biodegradable mulches are consistent with other studies using raw material Mater-Bi™ (Vox and Scarscia-Mugnozza, 2004; Minuto et al., 2008; Smith et al., 2008). The Agrobiofilm 4 showed the lowest productivity, being the only modality significantly different from PE and Agrobiofilm 1.

The biodegradation tests should have been kept undergoing for a longer period, so that we could get more detailed conclusions. Nevertheless, they gave us important information about the behavior of biodegradable mulches. Although the amount of lost area in the test under real field conditions was less than 1% for all mulches, when removed from the soil, plastic mulches were much more fragile. Under controlled conditions, the aerobic biodegradation percentage within 120 days of Agrobiofilm 1 was near 2%. The fact that cellulose hasn't reached the plateau phase indicates that the test should be performed a longer time.

From the results achieved during this study it can be concluded that Agrobiofilm 1 it's a very promising biodegradable mulch film and may be a viable option for the replacement of conventional polyethylene.

There are no biodegradation studies regarding the soil and the climatic conditions of Portugal, so there is a need for further studies to validate the results obtained.

Regarding the biodegradability in field conditions, there is a complete lack of information. Biodegradation in real field conditions has a total different dynamic that biodegradation in laboratorial controlled conditions and in five months couldn't be fully comprehended. More studies must be performed and for longer periods to assess the biodegradability along time.

This work has been carried out in the framework of the European research project FP7-SME-2010 “Development of enhanced biodegradable films for agricultural activities AGROBIOFILM”

Literature Cited

- BARRAGÁN H., PELACHO A. M. AND CLOSAS L. M. (2010). A Respirometric Test for Assessing the Biodegradability of Mulch Films in the Soil - 28th *International Horticultural Congress 2010*
- BASTOLI C. (1998). Green Chemistry: Science and politics of change, *Polymer Degradation and Stability*. 59, 263
- BILLINGHAM N., CHIELLINI E., CORTI, A., BACIU R. AND WILLES D. M. (2003). *Environmentally degradable plastics based on oxo-biodegradation of conventional polyolefins*. In: Biodegradable Polymers and Plastics. Kluwer/Plenum Academic. ISBN 9780306478840
- BRIASSOULIS, D. (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*. 91, 1256–1272.
- CHANDRA R AND RUSTGI R. (1998). Biodegradable polymers progress. *Polymer Science* 23:1273 e 335
- CLARKE S. P. (1996). *Recycling Farm Plastic Films* ISSN 1198-712x in <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/95-019.htm>
- FILIPPI F., MAGNANI G., GUERRINI S. AND RAGHINO F. (2011). Agronomic evaluation of green biodegradable mulch on melon crop. *Italian Journal of Agronomy*, Vol. 6, No 2
- GROSS R.A. AND BHANU-KALRA. (2002). Biodegradable Polymers for the Environment, *Science* 2, 803:807
http://www.poly.edu/grossbiocat/_doc/publication/SCIENCE%202002%20297%20803.pdf
- HEMPHILL D. D. JR. (1993). Agricultural Plastics as Solid Waste: What are the Options for Disposal? *HortTechnology* 3, 70:73

- HEUKELEKIAN H. AND WAKSMAN S. A. (1925). *Carbon and Nitrogen Transformations in the Decomposition of Cellulose by Filamentous Fungi*, New Jersey Agricultural Experiment Stations, New Brunswick. in <http://www.jbc.org/content/66/1/323.full.pdf>
- <http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>
- INIA (2012) *Colheita de amostras de terra antes da instalação das culturas ao ar livre* in www.inrb.pt
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA (2011) in http://www.meteo.pt/export/sites/default/bin/areaeducativa/clima/koppen_pt_cont_vrs1.2.jpg
- JANSSEN L. AND MOSCICKI L. (eds.) (2009). *Thermoplastic Starch A Green Material for Various Industries* ISBN: 978-3-527-32528-3.
- JOUE'T J.P. (2001). Plastics in the world, *Plasticulture* 120(2):108e26.
- KYRIKOU I. AND BRIASSOULIS D., *Biodegradation of agricultural plastic: a critical review*, published online 12 april 2007 in <http://pt.scribd.com/doc/60253979/Bio-Degradation-of-Agricultural-Plastic-Films-A-Critical-Review>
- MINUTO, G., GUERRINI, S., VERSARI, M., PISI, L., TINIVELLA, F. AND BRUZZONE, C. (2008) Use of biodegradable mulching in vegetable production. *16th IFOAM Organic World Congress*, Modena, Italy
- MORENO M. M. AND MORENO A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae* 116, 256–263

- NARAYAN R. (2001), Drivers for biodegradable/compostable plastics and role of composting in waste management and sustainable agriculture, *Bioprocessing of Solid Waste and Sludge* 11.
- PALHA, M., MEXIA, A., NUNES, A.P., MATEUS, C., ANDRADE, C.S., FIGUEIREDO, E., REIS, L.G., SOUSA, M.B., LOPES, M.C., FERREIRA, M.A., ALBANO, S. & CURADO, T., (2005). *Manual do Morangueiro*. Oeiras, INIAP/EAN. Projecto PO AGRO DE&d N.º 193.127. p.ISBN 972-579-00-8
- SCARASCIA-MUGNOZZA G., SICA C. AND RUSSO G. (2011). Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives, *Journal of Agricultural Engeneering*. 3, 15:28
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G., SCHETTINI, E., VOX, G., MALINCONICO, M., IMMIRZI, B. AND PAGLIARA, S. (2006). Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability*. 91, 2801–2808.
- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA – Serviço de reconhecimento agrário 1977 Portuguese land use capacity charter-31A
- SIVAN, A. (2011) New perspectives in plastic biodegradation, Current Opinion in *Biotechnology*, 22:422–426
- SMITH, B.R., DEYTON, D.E. AND SAMS, C.E. (2008). *Biodegradable films as an alternative to plastic mulch in strawberry production*. SRFC Research Funding. Progress Report for SRFC Project #2007-08.
- VARENNES, A. (2003) *Produtividade dos Solos e Ambiente*, 1ª edição, Escolar Editora. ISBN - 972-592-156-9

VOX, G., SCHETTINI, E. AND SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (2004). Radiometric properties of Biodegradable Film For Horticultural Protected Cultivation; SHS *Acta Horticulturae* 691: International Conference on Sustainable Greenhouse Systems - Greensys2004

Tables

TABLE I CHARACTERISTICS OF MULCH FILMS

Modality	Trial	Mulch Code	Thickness (µm)	Colour	Characteristics
Agrobiofilm 1	All field trials and lab. trail	CF 18B lot1	18	Black	Raw material Mater-Bi® grade CF04P 100% virgin
Agrobiofilm 2	Field trials - 2 nd cycle and biodegradation trial	CF 18B lot2	18	Black	Raw material Mater-Bi® grade CF04P with recycled material
Agrobiofilm 3	Field trials - 2 nd cycle and biodegradation trial	CF 20SB lot1	20	Silver on black	Raw material Mater-Bi® grade CF04P 100% virgin
Agrobiofilm 4	Field trials 1- 2 nd cycle and biodegradation trial	CF 20WB lot1	20	Withe on black	Raw material Mater-Bi® grade CF04P 100% virgin
NF	Field trials - 2 nd cycle and biodegradation trial	NF 18B lot1	18	Black	Raw material Mater-Bi® grade NF 803/P
PE	Field trials and lab. trail	PE 35B	35	Black	Conventional mulch

Characteristics of mulch films used in this study.

TABLE II FRUIT PRODUCTIVITY AND QUALITY

Mulch	Production/plant (g)	Production/Hectare (ton)	Average °Brix
PE Of	377,8 ^a ± 23,5	25,4 ^a ± 1,4	7,1 ^a ± 0,1
Agrobiofilm 1 Of	365,9 ^a ± 48,2	24,6 ^a ± 2,9	7,1 ^a ± 0,1

Productivity and fruit quality in open field (Of) of Polyethylene and Agrobiofilm 1.

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$.

TABLE III SOIL TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT

1st Cycle	Depth (cm)	Agrobiofilm 1			PE		
		10	20	30	10	20	30
Temperature (°C)	MINIMUM	7,0	7,2	8,2	7,2	8,2	7,6
	AVERAGE	17,9	17,5	18,5	17,7	18,8	17,1
	MAXIMUM	27,4	26,6	27,4	26,7	30,0	25,4
Moisture content (%)	AVERAGE	18,1	22,4	26,6	17,2	19,0	29,2

Soil temperature and moisture content under PE and Agrobiofilm 1 in the first crop cycle

TABLE IV FRUIT PRODUCTIVITY AND QUALITY

Mulch	Production/plant (g)	Production/Hectare (ton)	Average °Brix
PE Gh	460,7 ^a ± 17,5	31,0 ^a ± 1,0	7,0 ^b ± 0,1
Agrobiofilm 1 Gh	522,4 ^a ± 37,8	35,2 ^a ± 2,3	7,4 ^a ± 0,2

Fruit productivity and quality under greenhouse for PE and Agrobiofilm 1 mulches in the first crop cycle.

For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

TABLE V FRUIT PRODUCTIVITY AND QUALITY

Mulch	Production/plant (g)	Production/Hectare(ton)	Average °Brix
Agrobiofilm 1 Of	510,8 ^a ± 19,3	30,6 ^a ± 1,0	7,8 ^a ± 0,2
Agrobiofilm 2 Of	413,0 ^{ab} ± 28,6	24,8 ^{ab} ± 1,7	7,6 ^a ± 0,2
Agrobiofilm 3 Of	438,6 ^{ab} ± 20,3	26,3 ^{ab} ± 1,2	8,0 ^a ± 0,3
Agrobiofilm 4 Of	377,6 ^b ± 40,8	22,7 ^b ± 2,4	7,0 ^a ± 0,1
NF Of	430,4 ^{ab} ± 32,7	25,9 ^{ab} ± 2,0	7,9 ^a ± 0,4
PE Of	487,3 ^a ± 41,3	29,2 ^a ± 2,5	7,8 ^a ± 0,5

Fruit productivity and quality for the 2nd year of field trials under open field (Of) conditions For the same category, averages followed by the same letter are not significantly different at $\alpha=0,05$

TABLE VI SOIL TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT

Of		NF		Agrobiofilm 4		Agrobiofilm 3	
2 nd Cycle	Depth (cm)	10	20	10	20	10	20
Temperature (°C)	MINIMUM	1,5	2,1	2,3	2,1	1,2	1,6
	AVERAGE	17,8	17,5	19,1	17,4	19,1	18,5
	MAXIMUM	31,6	30,7	34,7	29,4	37,7	36,5
Moisture							
content (%)	AVERAGE	12,1	12,5	12,7	14,7	11,8	11,9

Soil temperature and moisture content under NF, Agrobiofilm 3 and 4 in the second crop cycle

Figures

Figure 1 - Example of Agrobiofilm 3, before burying (a), after removing from soil (b), processed with *Image J*(c)(d). The ratio between the areas of (c) and (d) gives us the % of lost area.

Figure 2 - Agrobiofilm 3, root detail on the surface of the mulch after removing from soil (b)

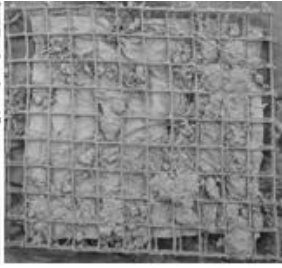
Figure 3 - Percentage of lost area in biodegradation test under field conditions for mulch films, Agrobiofilm 1, 2, 3 and 4, NF, PE and Cellulose.

Figure 4 - CO₂ accumulation during the incubation period for Agrobiofilm 1, PE, Cellulose and just Soil.

Figure 5 - Biodegradation percentage along the incubation period for Agrobiofilm 1, PE and Cellulose.



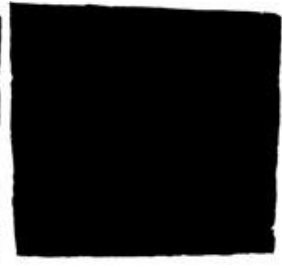
a



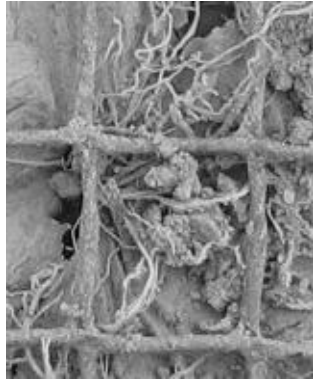
b

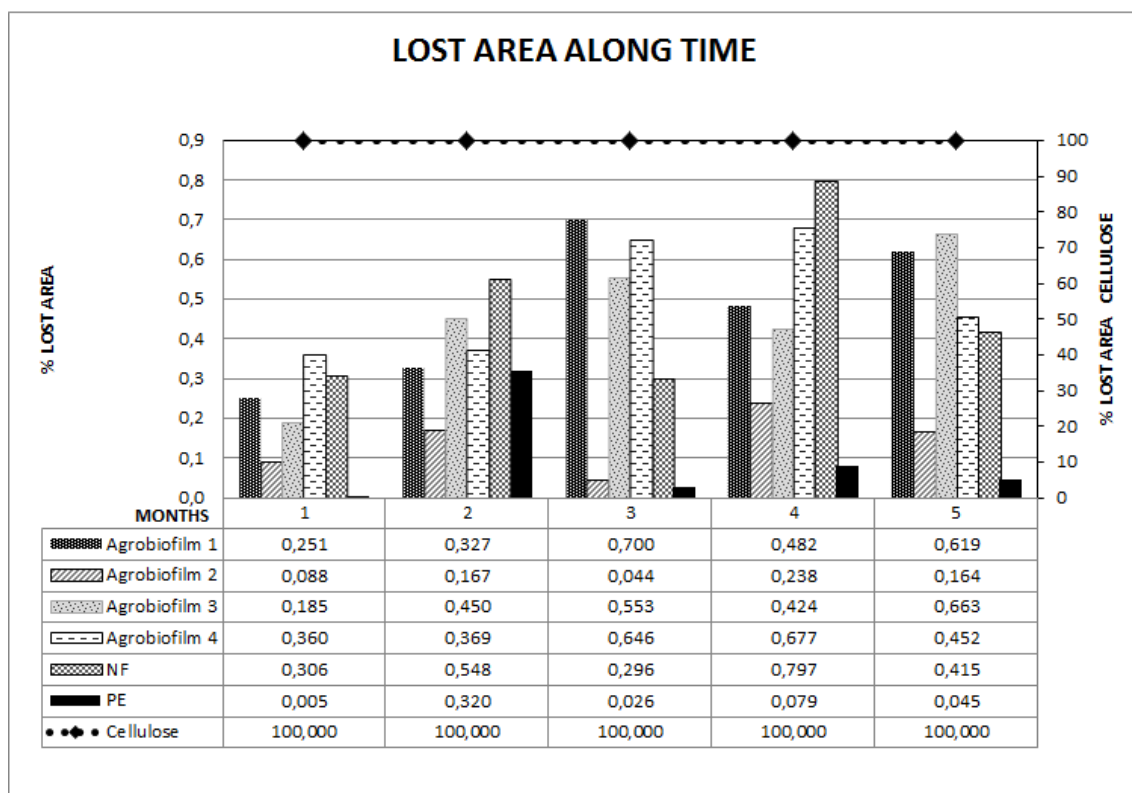


c

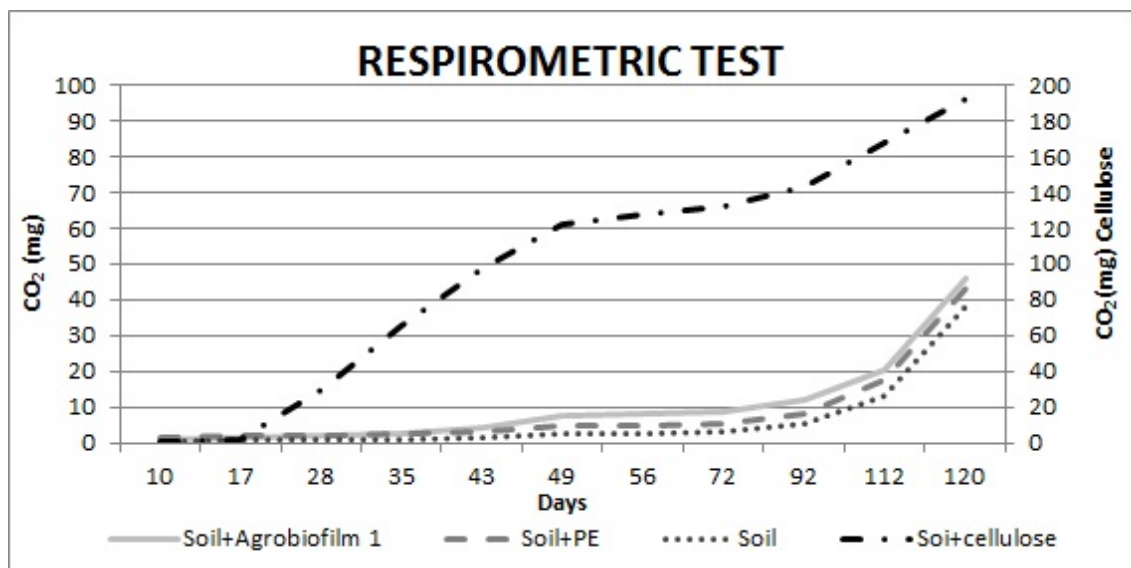


d

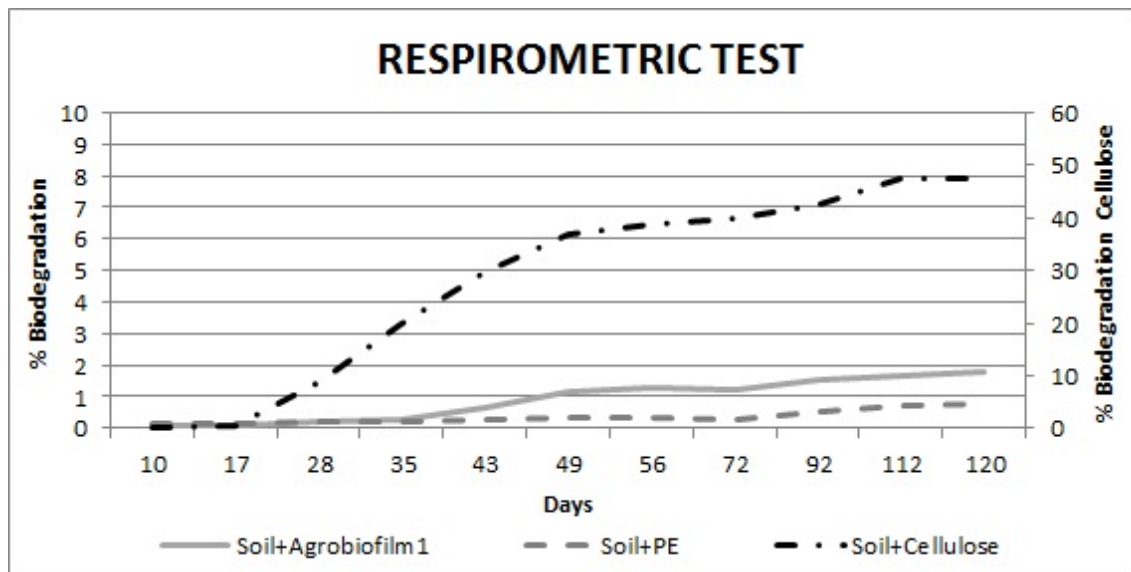




Note: There is a different scale on the right side of the graphic because lost area of the mulches is much lower when compared with cellulose.



Note: There is a different scale on the right side of the graphic because lost area of the mulches are much lower when comparing with cellulose.



Note: There is a different scale on the right side of the graphics because the biodegradation of Soil+Agrobiofilm1 and Soil+PE are much lower when comparing with Soil+Cellulose.

4. CONCLUSÕES

As práticas culturais e o equipamento utilizados não se alteraram com o uso de plásticos de cobertura biodegradáveis. O Agrobiofilm 1 foi o plástico biodegradável que apresentou melhores resultados em ambos os ciclos de produção, quando comparado com o PE.

Em estufa, a produtividade e a qualidade dos frutos da modalidade Agrobiofilm 1, foram maiores e significativamente diferentes da produtividade e qualidade dos frutos do PE convencional. Estes resultados são complementados com boa temperatura e teor de humidade do solo. Os bons resultados obtidos pelos plásticos de cobertura biodegradáveis são consistentes com outros estudos que utilizam matéria-prima Mater-Bi[™] (Vox & Scarascia-Mugnozza., 2004;. Minuto *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2008). O Agrobiofilm 4 apresentou a menor produtividade, sendo a única modalidade significativamente diferente de PE e Agrobiofilm 1.

Os ensaios de biodegradação deveriam ter sido realizados por um maior período de tempo para que pudessemos chegar a conclusões mais fundamentadas. No entanto, eles deram-nos informações importantes sobre o comportamento de coberturas biodegradáveis. Embora a quantidade de área perdida no teste em condições reais de campo tenha sido inferior a 1 % para todos os plásticos de cobertura, quando removidas do solo, as coberturas de plástico biodegradável estão muito mais frágeis. Sob condições controladas, a percentagem de biodegradação aeróbica no prazo de 120 dias do Agrobiofilm 1 foi cerca de 2 %. O facto da celulose ainda não ter atingido a fase de estabilização indica que o teste deve ser realizado durante um período de tempo mais longo.

A partir dos resultados obtidos durante o estudo, pode-se concluir que o Agrobiofilm 1 é um filme de cobertura biodegradável muito promissor e pode ser uma opção viável e sustentável para a substituição de polietileno convencional.

Não existem estudos sobre a biodegradação deste tipo de plásticos nas condições de solo e clima de Portugal, por isso há a necessidade de mais estudos para validar os resultados obtidos.

No que diz respeito à biodegradabilidade em condições de campo, existe uma completa falta de informação. A biodegradação nestas condições tem uma dinâmica totalmente diferente da biodegradação em condições laboratoriais controladas e em cinco meses essa dinâmica não conseguiu ser totalmente compreendida. É necessária

a realização de mais estudos nesta área, que sejam mais prolongados de modo a que seja possível compreender e avaliar a dinâmica da biodegradação em condições reais ao longo do tempo.

BIBLIOGRAFIA

Agrobiofilm, 2010, in <http://www.agrobiofilm.eu/pt/>, acedido em Novembro 2010

ASTDM D 6400-99 *Norma Americana para os plásticos compostáveis*

Barker M. & Safford, R., 2009, *Industrial uses for crops: markets for bioplastics*, HGCA.

Barragán H., Pelacho A.M. & Closas L. Martin, 2010, *A Respirometric Test for Assessing the Biodegradability of Mulch Films in the Soil* - 28th International Horticultural Congress 2010

Bastoli C., 1998, Green Chemistry: Science and politics of change, *Polymer Degradation and Stability* 59, 263

Billingham N., Chiellini E., Corti A., Baciú R. & Willes, D. M., 2003, *Environmentally degradable plastics based on oxo-biodegradation of conventional polyolefins*. In: *Biodegradable Polymers and Plastics*. Kluwer/Plenum Academic. ISBN 9780306478840

Bos U., Makishi C. & Fischer M., 2007, *Life Cycle Assessment of common used agricultural plastic* in http://www.actahort.org/books/801/801_35.htm acedido em Agosto 2012

Briassoulis, D., 2006, Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*. 91, 1256:1272

Cannington, F., Duggings R.B. & Roan R.G, 1975, *Florida vegetable production using plastic film mulch with drip irrigation*. *Proc. 12th Natl. Agr. Plastics Congr.*, 11:15

Chandra R. & Rustgi R., 1998, *Biodegradable polymers*. *Progress in Polymer Science* 23, 1273 e 335

Clarke, S. P., 1996, Engineer, Energy & Crop Systems/OMAFRA *Recycling Farm Plastic Films* ISSN 1198-712x in <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/95-019.htm>, acedido em Setembro 2012

Comissão Europeia, 2011, *Plastic waste in the environment* in <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf>, acedido em Setembro 2012

Disqual, 2011, *Manual de boas práticas – Morango* in <http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.exe?key=&doc=11402&img=42>, acedido em Setembro 2012

Durner E. & Poling E.B., 1988. Strawberry developmental responses to photoperiod and temperature : a review. *Advances in Strawberry Production*, Vol. 7, 6:14.

earth.google.com acedido Setembro 2012

EN13432 *Norma Europeia para materiais compostáveis e biodegradáveis*

Espi E. Salmeron A., Fontecha ,A., Garcia Y. & Real,A.I., 2006, Plastic films for agricultural applicatons, *Journal. Plast. Film Sheet* 22, 85:102

European bioplastics org in www.european-bioplastics.org/index.php?id=141, acedido em Outubro 2012

Filippi F., Magnani G., Guerrini S. & Raghino F., 2011, Agronomic evaluation of green biodegradable mulch on melon crop, *Italian Journal of Agronomy*, Vol 6, No 2

Greer L. & Dole J., 2003. Aluminum foil, aluminium-painted, plastic and degradable mulches increase yields and decrease insect vectored viral diseases of vegetables, *Hortechonology* 13, 276:284

Gross R. A., BhanuKalra, 2002, Biodegradable Polymers for the Environment, *Science* vol.297 2 in

http://www.poly.edu/grossbiocat/_doc/publication/SCIENCE%202002%20297%20803.pdf

Hankin L., Hill D.E. & Stephens G.R., 1982, Effects of mulches on bacterial population and enzyme activity in soil and vegetable yields. *Plant & Soil Sci.* 64,193:201

Hemphill D.D. Jr. 1993, Agricultural Plastics as Solid Waste: What are the Options for Disposal? *HortTechnology* 3, 70:73

Heukelekian H., Waksman S.A. 1925, *Carbon and Nitrogen Transformations in the Decomposition of Cellulose by Filamentous Fungi*, New Jersey Agricultural Experiment Stations, New Brunswick. in [//www.jbc.org/content/66/1/323.full.pdf](http://www.jbc.org/content/66/1/323.full.pdf), acedido em Agosto 2012

<http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>, acedido em Abril 2012

http://www.meteo.pt/export/sites/default/bin/areaeducativa/clima/koppen_pt_cont_vrs1.2.jpg, acedido em Agosto 2012

http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=104, acedido em Setembro 2012

<http://www.plasticsconverters.eu/markets/agriculture> , acedido em Setembro 2012

http://www.poly.edu/grossbiocat/_doc/publication/SCIENCE%202002%20297%20803.pdf, acedido em Outubro 2012

INE - Instituto Nacional de Estatística, estatísticas agrícolas 2011

INIA - Instituto Nacional de Investigação Agrária. *Colheita de amostras de terra antes da instalação das culturas ao ar livre* in www.inrb.pt acedido em Janeiro 2012

Instituto de meteorologia, 2011, in www.meteo.pt, acedido em Agosto 2012

ISO 17556-2003 – Plastics-determination of the ultimate aerobic degradability in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved.

Janssen L. & Moscicki L. (eds.), 2009, *Thermoplastic Starch A Green Material for Various Industries*, Hardcover

Joué't JP., 2001, Plastics in the world, *Plasticulture* 120, 108 e 26

Kijchavengkul t., Auras R., Rubino M. Ngouajio M. & Fernandez R.T., 2007, Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films, part I: field study. *Chemosphere*.10, 74.

Kyrikou I. & Briassolis D., *Biodegradation of agricultural plastic: a critical review* published online 12 april 2007 in <http://pt.scribd.com/doc/60253979/Bio-Degradation-of-Agricultural-Plastic-Films-A-Critical-Review>, acedido em Julho 2012

Lamont, W.J. Jr., 1993, Plastic Mulches for the Production of Vegetable Crops *HortTechnology* 3, 3:7

Lamont W.J. Jr., 1999, *New England Vegetable and Berry Growers Conference and Trade Show*, Sturbridge, MA. .299:302.

Locascio, S.J., Fiskell J.G.A., Graetz D.A & Hawk R.D. 1985, Nitrogen accumulation by peppers as influenced by mulch and time of fertilizer application, *Journal of the American Society for Horticultural Science* 110:325- 328.

McCraw D. & Motes J.E., 2007, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma state university - *Use of Plastic Mulch and Row Covers in*

Vegetable Production Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets. 1:5. In

<http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1099/F-6034%20web.pdf>),

acedido em Outubro 2012

Minuto, G., Guerrini, S., Versari, M., Pisi, L., Tinivella, F. & Bruzzone, C., 2008, *Use of biodegradable mulching in vegetable production*. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy

Moreno M.M. & Moreno A., 2008, Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae* 116, 256:263

Narayan R., 2001, Drivers for biodegradable/compostable plastics and role of composting in waste management and sustainable agriculture, *Bioprocessing of Solid Waste and Sludge* 11.

Palha, M., Mexia, A., Nunes, A.P., Mateus, C., Andrade, C.S., Figueiredo, E., Reis, L.G., Sousa, M.B., Lopes, M.C., Ferreira, M.A., Albano, S. & Curado, T., 2005, *Manual do Morangueiro*. Oeiras, INIAP/EAN. Projecto PO AGRO DE&d N.º 193.127. p.ISBN 972-579-00-8

Plasticnews, 2012, in <http://plasticsnews.com/fyi-charts/index.html?id=1773>, acedido em Setembro 2012

PlasticsEurope, 2010, in

[http://www.plasticseurope.org/documents/document/20101006091310-](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20101006091310-final_plasticsthefacts_28092010_lr.pdf)

final_plasticsthefacts_28092010_lr.pdf, acedido em Setembro 2012

PlasticsEurope, EuPC, EuPR, EPRO and Consultic, 2009, *The Compelling Facts about Plastics - An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008*.

Scarascia-Mugnozza G., Sica C. & Russo G., 2011, Plastic Materials in European Agriculture : actual use and perspectives. *J. of Ag. Eng. - Riv. di Ing. Agr.*, 3, 15:28

Scarascia-Mugnozza, G., Schettini, E., Vox, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Pagliara, S., 2006. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment, *Polymer Degradation and Stability* 91, 2801:2808.

Secretaria de Estado da Agricultura – Serviço de reconhecimento agrário 1977 *Portuguese land use capacity charter-31A*

Semedo, C. M. B. 1969, *A aplicação de plásticos na agricultura*, Junta Geral do Distrito Autónomo do funchal

Sivan, A., 2011, *New perspectives in plastic biodegradation*, Current Opinion in Biotechnology 22, 422:426

Smith, B.R., Deyton, D.E. & Sams, C.E., 2008, *Biodegradable films as an alternative to plastic mulch in strawberry production*. SRFC Research Funding. Progress Report for SRFC Project #2007-08.

Varenes, A., 2003. *Produtividade dos Solos e Ambiente*, 1st Edition, Escolar Editora

Vivero el pinar in <http://www.variedadesplantafresa.com/en/variedades-fresa/>, acedido em Outubro 2012

Vox, G., Schettini, E., Scarascia-Mugnozza, G., 2004. Radiometric properties of Biodegradable Film For Horticultural Protected Cultivation; SHS *Acta Horticulturae* 691: International Conference on Sustainable Greenhouse Systems - Greensy

ANEXOS

Anexo 1 - Localização dos ensaios de campo (earth.google.com/)



Anexo 2 - Estação meteorológica nos ensaios de campo



Anexo 3 - Ensaio de campo (Of), 1ºano



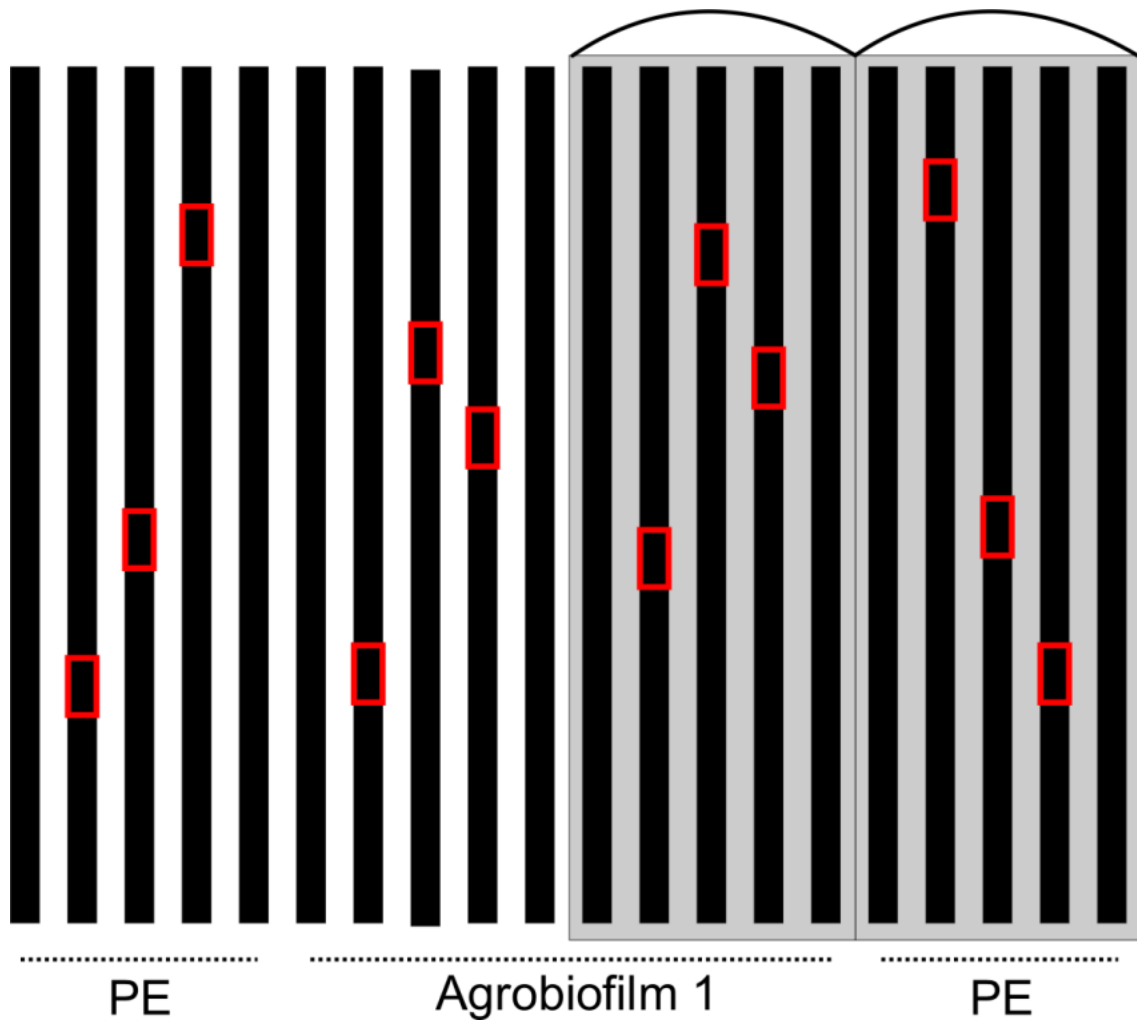
Anexo 4 - Ensaio de campo (GH), 1ºano



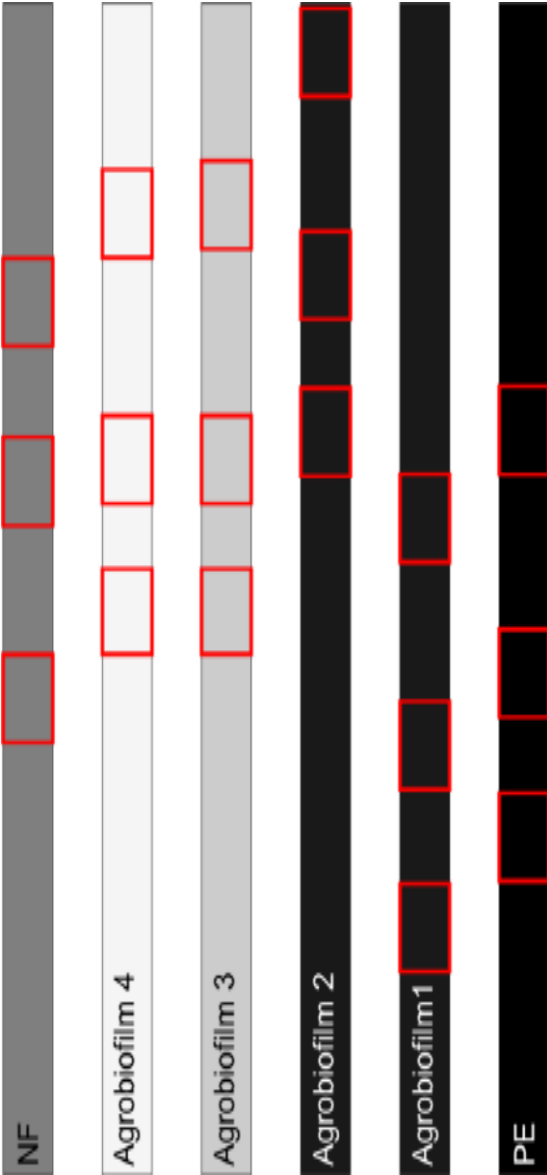
Anexo 5 - Ensaio de campo 2ºano



Anexo 6 – Layout 1º Ano



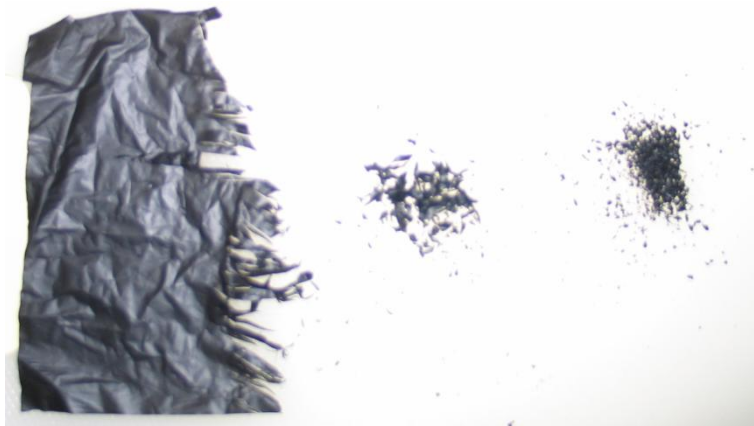
Anexo 7 – Layout 2º ano



Anexo 8 - Ensaio de ph para teste respirométrico



Anexo 9 - Corte de plástico para ensaio respirométrico (< 2 mm)



**Anexo 10 - Preparação de ensaio respirométrico – modalidades a inserir nos
frascos (< 2 mm)**



Anexo11 – Frascos de teste respirométrico

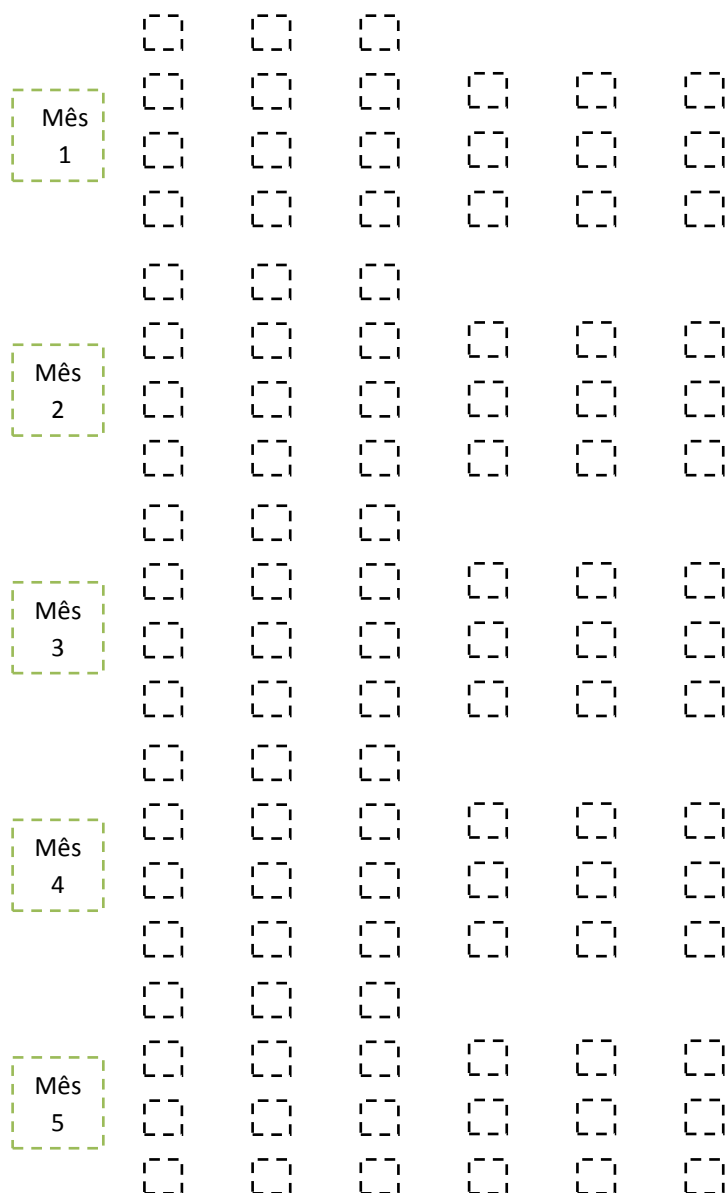


Anexo 12 - Esquema da colocação das molduras

Vista de perfil



Vista em planta



Anexo 13 – Colocação das molduras no solo

